

Title	強磁場中における亜酸化銅光吸収スペクトルの温度依存性と量子カオス(3)分子科学、核理論における量子カオスと半古典理論,京大基研短期研究会 量子力学とカオス-基礎的問題からナノサイエンスまで-,研究会報告)
Author(s)	瀬山, 実穂
Citation	物性研究 (2004), 82(5): 735-738
Issue Date	2004-08-20
URL	<a href="http://hdl.handle.net/2433/97859">http://hdl.handle.net/2433/97859</a>
Right	
Type	Departmental Bulletin Paper
Textversion	publisher

## 強磁場中における亜酸化銅光吸収スペクトルの温度依存性と量子カオス

### Analysis of the Temperature Dependence of Absorption Spectra of $\text{Cu}_2\text{O}$ in High Magnetic Fields in terms of Quantum Chaos

物質・材料研究機構

瀬山実穂\*

亜酸化銅 ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ) の光吸収スペクトルを、25 T までの定常強磁場を用いて詳細に測定し、水素原子モデルにおける実験条件に相当するパラメータでの古典軌道の不安定周期軌道との比較を行った。周期軌道の初期条件や軌道の回帰時間などに測定スペクトルと対応する特徴が得られた。

#### 1、序論

亜酸化銅は光吸収スペクトル中に水素原子様の鋭いエキシトンピークが多数みられることで知られており、1950 年代から研究されてきた[1]。エキシトンピークは磁場をあげると高エネルギー側にシフトし、その過程で分裂や反発を繰り返し、複雑なスペクトルを形成する。10 T までの低磁場領域のスペクトルは Sasaki らによって詳細に報告されており[2]、また低エネルギーに存在する  $n = 2, 3$  のピークについては Kobayashi らによって 150 T まで観測されている[3]が、広い磁場－エネルギー領域における詳細な研究は行われていない。

この系ではモデルとなる磁場中の水素原子軌道が古典的カオスの典型的な例として知られていることからカオス性が見られることが期待される。我々はスペクトルを量子カオスの観点から解析するために磁場中水素の古典的不安定周期軌道を用いた解析を試みている。

前回の研究会では低エネルギー領域に存在するいくつかのピークについて、摂動計算による解析により説明できない領域があること、またピークの間隔による準位統計によって統計を取る領域によって統計結果が異なり、特に高エネルギー・強磁場領域においてウィグナー分布に近づくことを報告した[4]。

今回我々はウィグナー分布に近い分布を得られた領域について、水素原子ハミルトニアンを我々の実験範囲に拡張し、古典的不安定軌道を計算し回帰する軌道を抽出した。得られた軌道の回帰時間などの統計的性質と観測したスペクトルとの興味深い関連が見られたので報告する。

---

\*E-mail : SEYAMA.Miho@nims.go.jp

## 2、実験および結果

floating-zone 法によって作られた単結晶を薄く ( $50\text{ }\mu\text{m}$ ) 研磨した試料を用い[5]、物質・材料研究機構強磁場センターの水冷銅マグネットにより 25 T までの定常磁場を用いて測定を行った。定常磁場を用い、観測は CCD カメラによって高速に行うことにより、ほぼ連続なスペクトル (磁場分解能  $0.04\text{ T}$ ) を得た。

吸収スペクトルに現れるピークは磁場をあげるに従って高エネルギー側にシフトし、細かいピークが分岐したり、ピーク同士が反発する様子が観測された[6]。

スペクトルの磁場依存の様子によって磁場—エネルギー平面は3つの領域に分けられ、ピーク間隔で準位統計を取ったところその領域ごとに特徴が異なり、磁場とエネルギーが高くなるに従いウィグナー分布に近づいてくる傾向にあることは以前報告している[4]。

下の図は準位統計でウィグナー分布に近いものが得られた領域の拡大図である。図 1 は観測されたスペクトルを 2 階微分し、ピークを際立たせるために抽出した図である。この領域のスペクトルを注意深く見てみると、低い磁場から存在している比較的大いピーク (メインピーク) の間に、ほぼ 7 T おきに小さいピークが現れることがわかった。(図 1 の○の箇所)

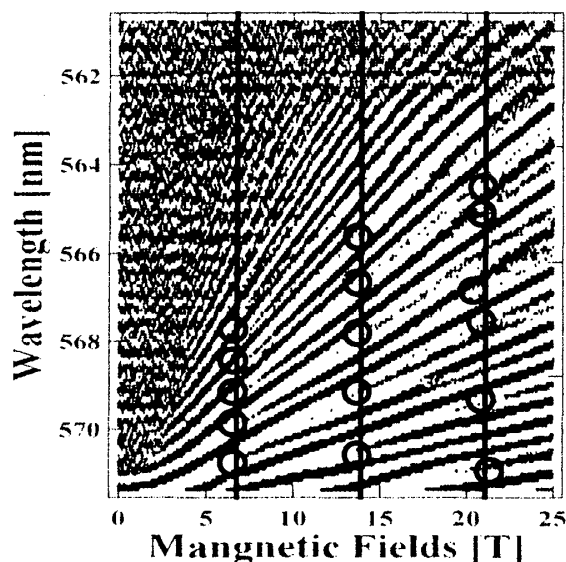


図 1：ピーク間の準位統計によりウィグナー分布に近い分布になり、カオス性が見られることが期待される領域のスペクトル

以上の磁場依存性の特徴に加え、温度依存性についても興味深い特徴がみられた。上記の準位統計でウィグナー分布に近い分布を取った領域中の4つのピークに注目し、ピーク強度と半値幅をみた。注目したピークは磁場の低いところからも存在している比較的大きい二つのピーク、メイン1・2と、磁場をあげていくと現れる比較的小さい二つのピーク、サブ1・2の4つとし、特徴を比べた。その結果、メイン1・2ピークは温度を上げると

強度は下がるが半値幅は変わらない、またサブ1・2ピークは温度をあげると強度は変わらないが半値幅が広がることがわかった。このことから、温度依存性の異なるピークが少なくとも2種類存在すると言うことが出来る。

通常の光学遷移によるピーク構造では、温度上昇、つまり散乱時間の減少によってピークの半値幅は増大するが、吸収強度は一定に保たれる。この点において、これらのピークが可積分系のものと異なる性質を持つことが予測される。

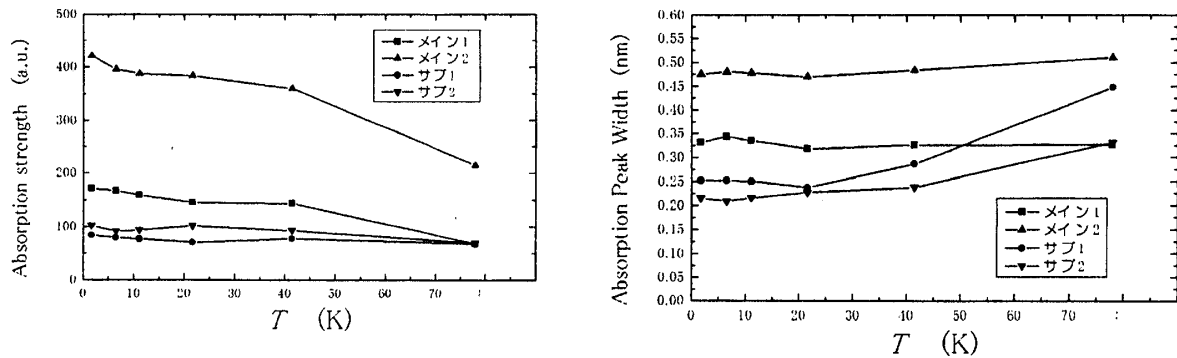


図2：図1の領域中の4つのピークの温度依存性（左はピーク強度、右は半値幅）

### 3、計算

このような複雑な面をもつスペクトルを解析するために、我々は水素原子ハミルトニアンのパラメータを我々の実験範囲に拡張し、古典軌道を直接計算し、スペクトルとの対応をみた。

具体的にはポアンカレマップ上の点が十分近づいた軌道を「不安定周期軌道」とみなし、この軌道を得られたパラメータや周期の分布や統計量にスペクトルとの対応が見られるかどうか検討した。

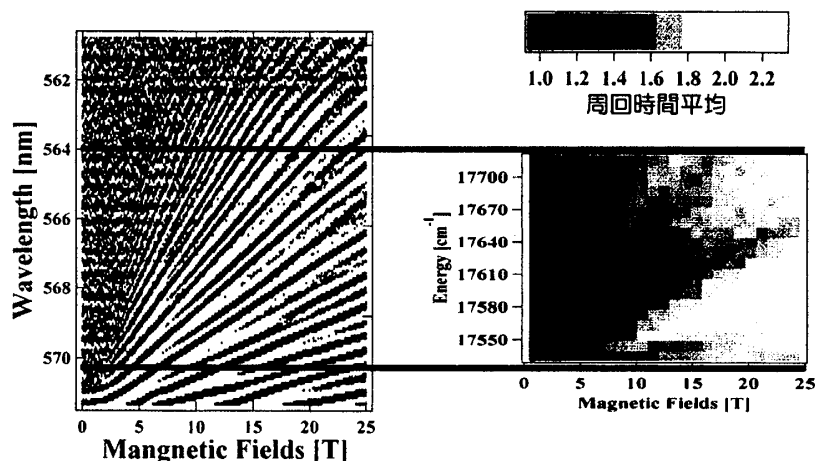


図3：2階微分スペクトル（左、図1と同じ図）と周期軌道の回帰時間の平均のマッピング（右下、色の薄い箇所ほど長い周期を表す）

パラメータの横軸を磁場、縦軸をエネルギーとしてマッピングし、色の濃さで平均回帰時間の長さをあらわしたのが図 3 である。実際にはそのポイントのパラメータで得られた全ての軌道の周期を平均したものである。色が薄いほど長い軌道を表している。このマップとスペクトルを照合したところ、実験結果とよく似たシフトが見られるなど、一致する点があることがわかった。

また計算結果のマッピングを注意深く見て見ると、黒いラインは低磁場から存在し、やや白っぽいラインが途中から派生しているように見える。実験結果と照らし合わせて見ると、低磁場から存在する黒いラインは温度依存性でのメイン 1・2 のように、低磁場から存在する比較的太いピークで、途中から派生しているように見えるやや薄い色のラインはサブ 1・2 のようにメインピークの間に存在する比較的細いピークに相当するのではないかと考えられる。すなわち、温度依存性の異なる 2 種類のピークに相当する可能性も考えられる。

#### 4、まとめ

水素原子ハミルトニアンを我々の亜酸化銅を用いた実験に拡張することにより、実験結果と計算結果に対応が見られた。今後は初期条件をより細かく分割し計算をすすめ、現在実行中である初期条件のマッピングや回帰時間の分散による統計、軌道の形の分類などを進めることにより、スペクトルをさらに詳細に解明できることが期待される。

#### 5、謝辞

実験に用いた試料は眞隅泰三氏（現 物質・材料研究機構）グループの山口博之氏（現 秋田県立大学）より提供されたものを使わせていただいた。

計算に用いたプログラムは半村清孝氏（現 Hitachi Cambridge Lab.）の協力のもと、作成した。

実験および解析においては物質・材料研究機構の高増正氏、今中康貴氏、木戸義勇氏にご協力およびアドバイスを頂いた。

#### 参考文献

- [1] M. Hayashi and K. Katsuki, J. Phys. Soc. Jap. 7(1952)599.
- [2] H. Sasaki et al. J. Phys. Soc. Jap. Vol. 34, No. 1(1973)95.
- [3] M. Kobayashi et al. J. Phys. Soc. Jap. Vol. 58, No.5(1989)1823.
- [4] 瀬山実穂、高増正、物性研究 Vol. 80, No. 1 (2003-4) 121.
- [5] T. Ito et al. J. Mat. Sci. 33(1998)3555
- [6] M. Seyama et al. J. Phys. Soc. Jap. Vol. 72, No. 2,(2003)437